ChinaXiv合作期刊

doi:10.13866/j.azr.2019.04.11

盐旱耦合胁迫对费尔干猪毛菜种子萌发及其幼苗生长的影响①

塔伊尔·买买提江， 马亚丽， 兰海燕
（新疆大学生命科学与技术学院,新疆生物资源基因工程重点实验室,新疆 乌鲁木齐 830046）

摘 要: 本研究采用双因素组合实验,探讨盐(NaCl)、干旱(PEG 6000)对费尔干猪毛菜(*Salsola ferganica*)种子萌发和幼苗生长的影响。结果显示:① 费尔干猪毛菜种子萌发能耐受较高浓度 NaCl 和 PEG 胁迫。低浓度 NaCl 或 PEG 胁迫下,费尔干猪毛菜去翅种子和具翅种子萌发率与对照无显著差异,高浓度 NaCl 或 PEG 处理下,去翅种子萌发率35%以上,显示较强的耐盐、耐旱性;盐旱耦合处理下,不同低浓度 PEG 能够显著缓解中浓度 NaCl 对种子萌发的抑制作用。② 随 NaCl 浓度升高,具翅种子恢复萌发率逐渐上升,而去翅种子则维持较低水平;随着 PEG 浓度的升高,2 种种子恢复萌发能力显著降低;盐旱耦合处理下 2 种种子的恢复萌发率与 NaCl 胁迫具有相同趋势。③ NaCl 或 PEG 对去翅种子幼苗的影响比具翅种子强,特别是 PEG 处理;随 NaCl 或 PEG 浓度升高,2 种种子幼苗的株高和根长均降低;盐旱耦合处理下低浓度 NaCl 对去翅种子幼苗的影响比具翅种子小(除了 100 mmol·L^{-1} NaCl + 25 g·L^{-1} PEG 处理),中浓度 NaCl 对去翅种子幼苗的影响比具翅种子强,高浓度 NaCl 处理下随 PEG 浓度升高,2 种种子幼苗的株高和根长均降低。以上结果显示,费尔干猪毛菜在萌发期和幼苗期具有较强的耐盐耐旱性,盐旱耦合在一定程度上能够缓解盐离子毒害效应,这对其度过早期恶劣环境具有重要的生态学意义;果翅对种子在胁迫下进入次级休眠,从而补充土壤种子库起到重要作用。

关键词: 费尔干猪毛菜; 种子萌发; 渗透胁迫; 离子毒害; 具翅种子; 古尔班通古特沙漠

植物生长发育常受盐、旱、高低温、强光照等不利因素的影响,甚至可能威胁物种的生存和繁衍[1]。种子萌发是被子植物繁殖中至关重要的阶段,尤其是生活在特殊环境的一年生草本植物[2]。种子在自然环境中受到栖息地各种非生物胁迫,如干旱、高盐等因素的影响[3],从而显著影响种子的萌发[4-6]。荒漠植物种子常具苞片、果翅等附属物,如滨藜属(*Atriplex*)、猪毛菜属(*Salsola*)、梭梭属(*Haloxylon*)植物[5,7-9]。果翅一方面有利于种子的扩散,对其选择适宜生境起到重要作用;另一方面,果翅在种子的萌发过程中有一定的抑制作用,并随着非生物胁迫因素的变化而改变[10-11]。种子萌发的差异不仅可通过萌发指标来呈现,其萌发后幼苗的生长状况更能直接反映荒漠植物萌发行为的有效性[5]。盐、旱等非生物因素显著影响幼苗的株高、根长等指标[12-13]。研究表明,早期幼苗株高与种子逆境耐受性具有较高的一致性,但根长变化差异较大[14]。因此,系统研究非生物因素(如盐、旱等)对种子萌发和幼苗生长的影响,将有助于了解荒漠植物在早期适应异质环境的独特机制。

费尔干猪毛菜(*Salsola ferganica*)是藜科猪毛菜属一年生荒漠盐生植物,被称为"天然脱盐器"[15-16]。研究发现,具膜翅的费尔干猪毛菜种子在早春融雪时可以在致密的盐壳下萌发并快速生长[17]。由此显示,费尔干猪毛菜种子和幼苗具有极强的抗逆性,而目前对其种子萌发和幼苗生长对胁迫响应的深入研究较为有限。基于此,本文研究了盐(NaCl)、干旱(PEG 6000)及盐旱耦合胁迫对费尔干猪毛菜种子萌发和幼苗生长的影响,以期为进一步探索荒漠植物早期的适应策略以及天然植被的生态恢复提供理论依据。

① **收稿日期:** 2018-08-30; **修订日期:** 2018-11-26
基金项目: 本研究由新疆维吾尔自治区重点实验室开放基金项目(2016D03015)和国家自然科学基金项目(31460043,31660068)共同资助
作者简介: 塔伊尔·买买提江(1991-),男,硕士研究生,主要从事植物抗逆分子生物学研究. E-mail: 825449269@qq.com
通讯作者: 兰海燕. E-mail: lanhaiyan@xju.edu.cn

chinaXiv:201909.00062v1

ChinaXiv合作期刊

1 材料与方法

1.1 种子采集

费尔干猪毛菜原生境位于古尔班通古特沙漠边缘砾质荒漠或盐碱荒地,通常 3 月下旬至 4 月初萌发,7、8 月中旬开花,9 月底至 10 月初结实。本实验所用费尔干猪毛菜种子为 2013 年 10 月采集于新疆五家渠 103 团北沙窝盐碱地(44°29′821″N,87°31′181″E;海拔 429 m)。新鲜种子采集后于阴凉通风处晾置 2 周左右,筛净贮藏于阴凉干燥的木箱内(常年温度 18~30 ℃,相对湿度 8%~20%),此为室温贮藏种子。2014 年 5 月将常温贮藏种子随机取一部分,4 ℃冰箱保存,此为低温贮藏种子。笔者将具膜质翅状附属物的种子称为具翅种子,去除膜质翅状附属物的种子称为去翅种子。

1.2 种子萌发指标测定

选取果翅完好,翅半径为 3.0~4.5 mm 的种子,对室温和 4 ℃贮藏种子分别进行萌发实验。不同处理按 4 个重复、每重复 30 粒种子均匀播于铺有 2 层水饱和(7 mL 蒸馏水)滤纸的 9 cm 培养皿中,置于 12 h 光照/12 h 黑暗、25 ℃、相对湿度 50%、光照强度 100 μmol·m^{-2}·s^{-1}的人工气候箱(RXZ-500D-LED,浙江宁波江南仪器厂)中萌发。以胚根突破种皮长度达种子直径一半时(不包括翅)确定为萌发,每 24 h 统计 1 次,共 15 d。本实验所有种子萌发实验均按以上条件进行。选取萌发第 15 d 的幼苗拍照,利用 Image J 软件测量幼苗株高及根长,每处理测量 10 株。种子萌发相关指标按如下公式计算:萌发率=萌发种子数/测试种子数×100%;萌发速率为萌发率达 50% 所用的天数[18]。

1.3 盐或干旱胁迫

对于 NaCl 胁迫,具翅种子和去翅种子分别在 50、100、300、500、700 mmol·L^{-1}和 1 000 mmol·L^{-1} NaCl 溶液中萌发,对应渗透压分别为:-248、-496、-1 487、-2 478、-3 469、-4 955 kPa[19];对于 PEG 胁迫,具翅种子和去翅种子分别在浓度为 25、50、100、150、200 g·L^{-1}和 300 g·L^{-1} PEG 6000 溶液中萌发,对应渗透压分别为:-20、-50、-150、-300、-500、-1 000 kPa[20];对于 NaCl 和 PEG 耦合胁迫,设置不同浓度 NaCl 和 PEG 组合处理:100 mmol·L^{-1}+25 g·L^{-1}、100 mmol·L^{-1}+50 g·L^{-1}、100 mmol·L^{-1}+100 g·L^{-1}、300 mmol·L^{-1}+25 g·L^{-1}、300 mmol·L^{-1}+50 g·L^{-1}、300 mmol·L^{-1}+100 g·L^{-1}、500 mmol·L^{-1}+25 g·L^{-1}、500 mmol·L^{-1}+50 g·L^{-1}、500 mmol·L^{-1}+100 g·L^{-1},以灭菌蒸馏水(渗透压 0 kPa)为对照。

1.4 数据统计分析

所有数值均以平均值±标准差(mean±SD)表示。对种子萌发率等百分比数据进行反正弦转换,以保证数据齐性。采用 SPSS 22.0 软件单因素方差分析(One-way ANOVA)、双因素方差分析(Two-way ANOVA)和三因素方差分析(Three-way ANOVA)进行显著性检验。采用 Graphpad Prism Version 5.01 进行软件作图。

2 结果与分析

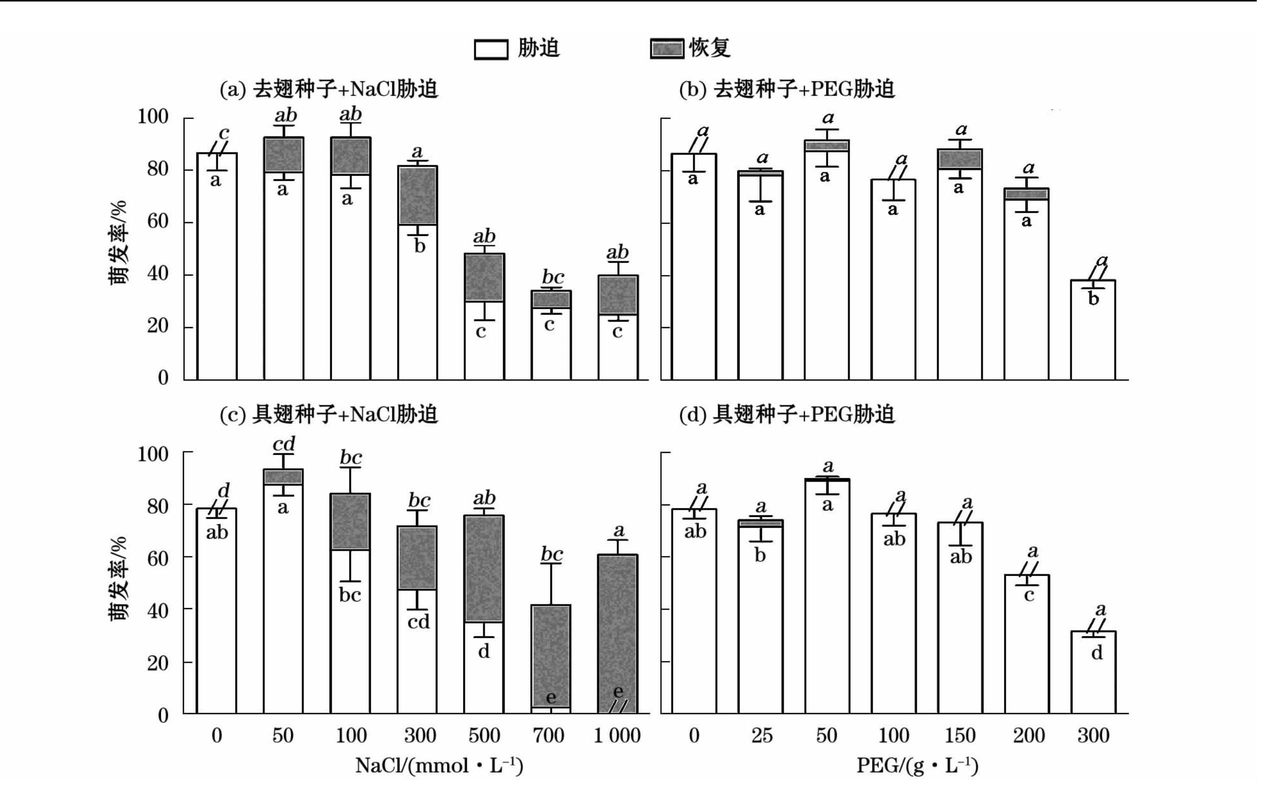
2.1 盐或干旱胁迫对种子萌发和幼苗生长的影响

2.1.1 盐胁迫对种子萌发的影响 盐胁迫下费尔干猪毛菜种子萌发实验结果显示,低 NaCl 浓度(100 mmol·L^{-1})处理下,具翅种子的萌发率与对照(0 mmol·L^{-1})相比差异不显著($P>0.05$;图 1c,图 2a);中浓度 NaCl(300 mmol·L^{-1})处理时,萌发率下降至约 50%;较高浓度 NaCl(500 mmol·L^{-1})处理下仍保持近 40% 的萌发率。去翅种子在中、高浓度 NaCl(300 mmol·L^{-1}或>500 mmol·L^{-1})处理下,保持较高的萌发率,分别约为 60%、30%(图 1,图 2)。NaCl 胁迫恢复萌发实验结果显示,具翅种子表现较高的恢复率(约 30%),且随着 NaCl 浓度升高恢复率逐渐上升(图 1c)。从低浓度 NaCl 胁迫(50 mmol·L^{-1})解除后<5% 的恢复率上升到高浓度(1 000 mmol·L^{-1})胁迫解除后达约 70% 恢复率。但与具翅种子相反,去翅种子恢复萌发率较低(图 1a,1c)。去翅种子在低浓度 NaCl(<100 mmol·L^{-1})胁迫下达到最高萌发率的时间比具翅种子明显要短(图 2a,图 2b)。

2.1.2 干旱胁迫对种子萌发的影响 费尔干猪毛菜具翅种子在低浓度 PEG(<150 g·L^{-1})处理下的萌发率与对照差异不显著($P>0.05$;除 25 g·L^{-1} PEG 外),均在 80% 左右(图 1d,图 2c);中浓度 PEG(200 g·L^{-1})处理下,萌发率仍在 50% 以上;较高浓度 PEG(300 g·L^{-1})处理下萌发率降到较低水平(<30%)。去翅种子在低、中浓度 PEG 胁迫下与对照组差异不显著($P>0.05$;图1b),高浓度PEG

chinaXiv:201909.00062v1

ChinaXiv合作期刊



注：不同小写字母（正体表示胁迫，斜体表示恢复）表示差异显著（$P<0.05$）。

图1 盐或干旱胁迫对费尔干猪毛菜种子萌发的影响

Fig. 1 Effect of salt or drought stress on seed germination of *Salsola ferganica*

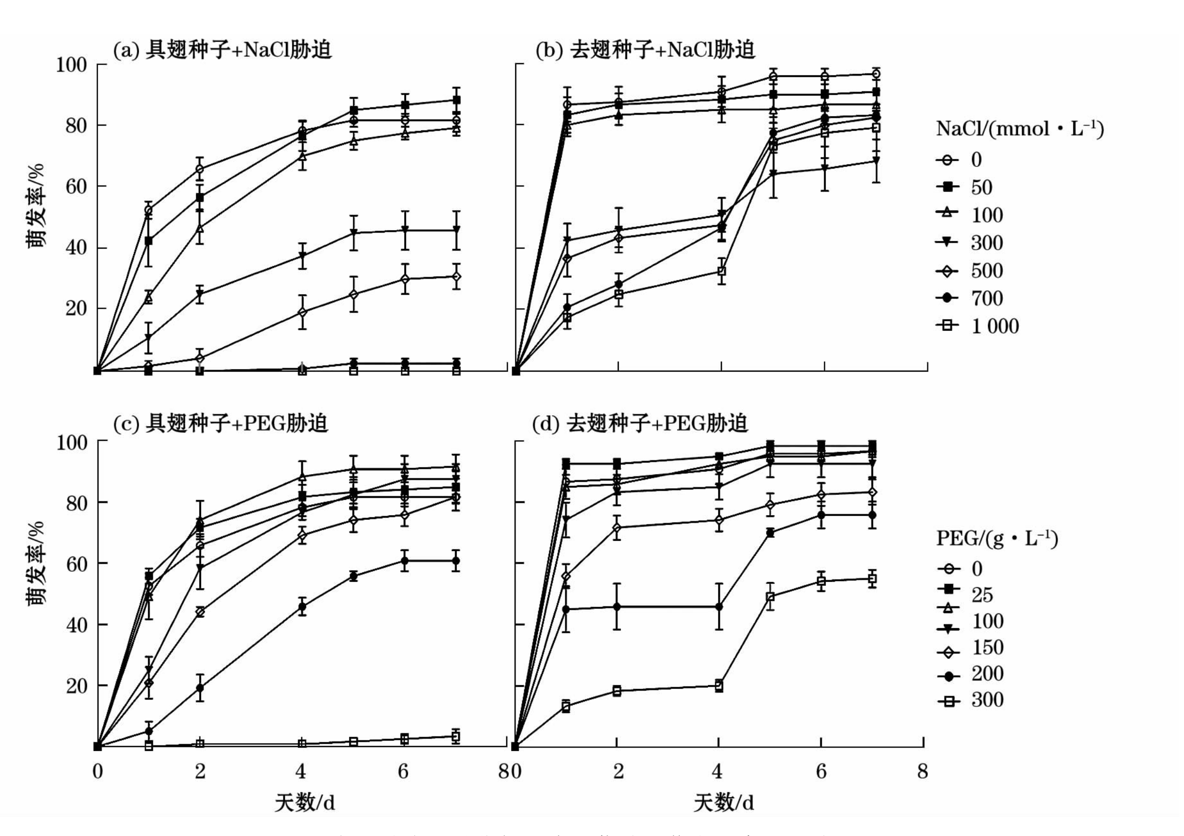


图2 盐或干旱胁迫对费尔干猪毛菜种子萌发速率的影响

Fig. 2 Effect of salt or drought stress on seed germination rate of *S. ferganica*

chinaXiv:201909.00062v1

ChinaXiv合作期刊

chinaXiv:201909.00062v1

胁迫下萌发率较低。PEG 胁迫下，2 种种子胁迫解除后均未观察到显著的恢复萌发（$P>0.05$；图 1b，图 1d）。去翅种子在低、中浓度的 PEG 胁迫下，达到最高萌发率的时间明显少于具翅种子（图 2c，图 2d）。

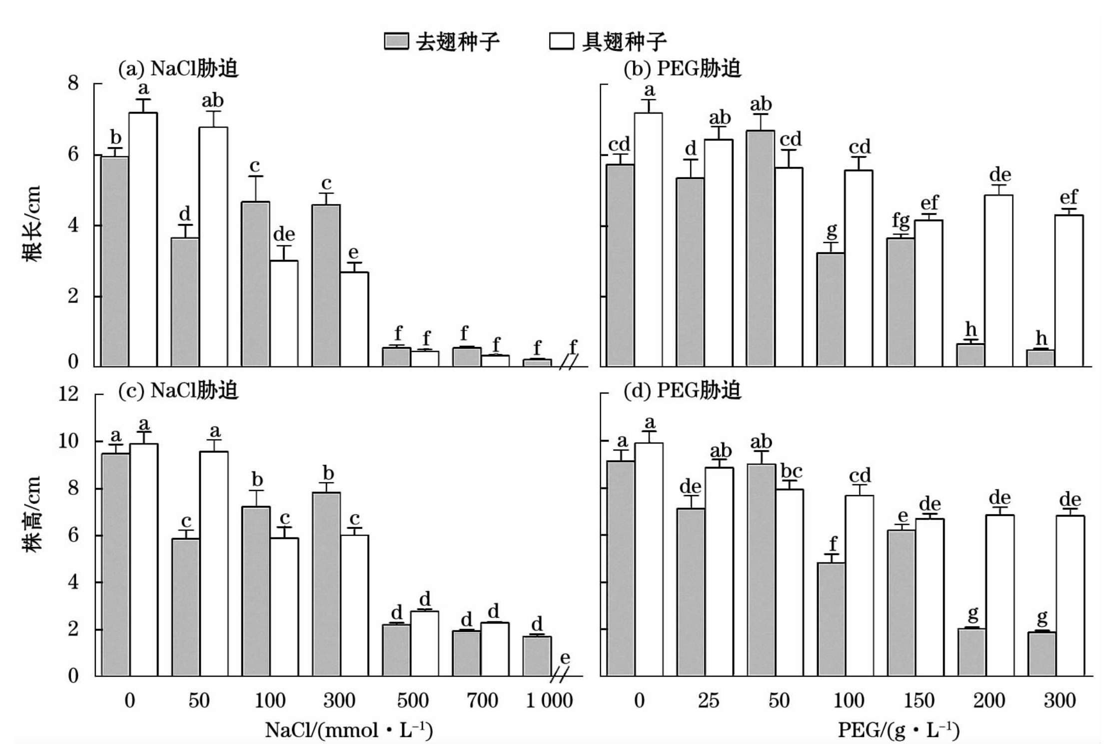
2.1.3 盐胁迫对幼苗生长的影响 费尔干猪毛菜在 NaCl 处理下幼苗生长总体趋势显示，NaCl 对去翅种子幼苗的影响比具翅种子明显（图 3a，图 3c）。低浓度 NaCl（50 $mmol \cdot L^{-1}$）胁迫下具翅种子幼苗根长和株高显著高于去翅种子（$P<0.05$）。随 NaCl 浓度升高，2 种种子幼苗的株高和根长均受到一定抑制。高浓度 NaCl 胁迫下 2 种种子幼苗的株高之间无显著差异（$P>0.05$）。

2.1.4 干旱胁迫对幼苗生长的影响 PEG 对去翅种子幼苗的影响比具翅种子强，随着 PEG 浓度升高，去翅种子幼苗的株高和根长受抑制程度与具翅种子具有极显著差异（$P<0.001$；图 3）。等渗透压的 PEG 处理下，去翅种子幼苗生长的胁迫效应显著高于 NaCl，但对具翅种子幼苗的影响不大（图 3）。

2.2 盐旱耦合胁迫对种子萌发和幼苗生长的影响

2.2.1 盐旱耦合胁迫对种子萌发的影响 图 4 显示，在低、中盐浓度下（100 $mmol \cdot L^{-1}$ 或300 $mmol \cdot L^{-1}$），PEG 浓度增加对 2 种种子的萌发无显著影响（$P>0.05$；除了 300 $mmol \cdot L^{-1}$ NaCl + 100 $g \cdot L^{-1}$ PEG），去翅种子萌发与对照无显著差异（$P>0.05$），具翅种子萌发率与盐单独处理相比显著降低；在高浓度 NaCl 胁迫下（500 $mmol \cdot L^{-1}$ NaCl），两者的萌发率随 PEG 浓度增加显著下降（$P<0.05$），但显著高于 NaCl 单独胁迫处理的萌发率（$P<0.05$），且此耦合处理下去翅种子萌发率显著高于 NaCl 单独处理（$P<0.05$）。当 NaCl 浓度达 500 $mmol \cdot L^{-1}$时，具翅种子在 PEG 浓度升至100 $g \cdot L^{-1}$时萌发率显著低于 NaCl 单独处理。同一 NaCl 浓度下，PEG 胁迫随浓度的上升，对去翅种子萌发具有促进作用，而对具翅种子萌发有抑制的趋势。

盐旱耦合胁迫解除后的恢复萌发率与 NaCl 胁迫解除后的恢复萌发率具有相同的趋势。随 NaCl 浓度和 PEG 浓度的升高，去翅种子的恢复萌发率比具翅种子恢复萌发率低（图 4）。具翅种子恢复萌发率逐渐上升，即 NaCl 和 PEG 浓度最高时（500 $mmol \cdot L^{-1}$NaCl + 100 $g \cdot L^{-1}$ PEG）恢复萌发率最高（58%）。NaCl 和 PEG 耦合胁迫对萌发速率的影响与 NaCl 或 PEG 单独胁迫的萌发速率具有类似的趋势（图 2，图5）。NaCl或 PEG 及盐旱耦合胁

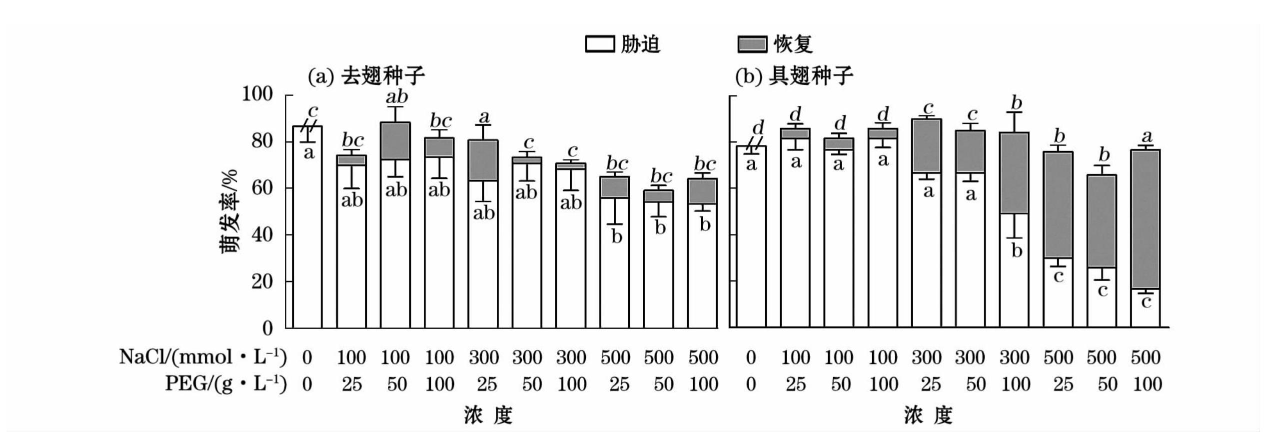


注：不同小写字母表示种子在不同浓度 NaCl 或 PEG 胁迫下差异显著（$P<0.05$）。

图 3 盐或干旱胁迫对费尔干猪毛菜幼苗生长的影响

Fig. 3 Effect of salt or drought stress on seedling growth of *S. ferganica*

ChinaXiv合作期刊



注:不同小写字母(正体表示胁迫,斜体表示恢复)表示不同处理间差异显著($P<0.05$)。

图4 盐旱耦合胁迫对费尔干猪毛菜不同类型种子萌发的影响。

Fig. 4 Effect of salt coupled with drought stress on seed germination of *S. ferganica*

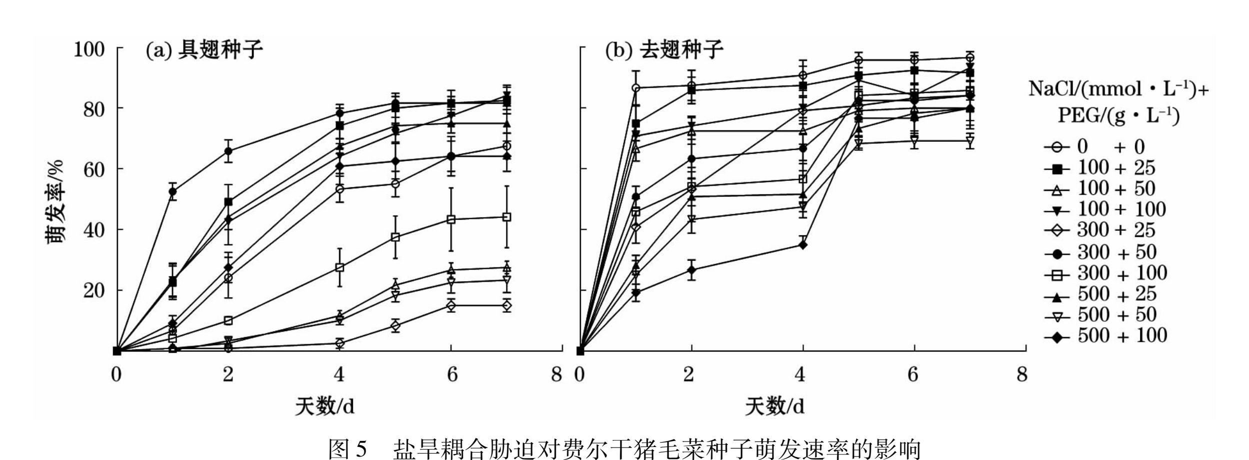


图5 盐旱耦合胁迫对费尔干猪毛菜种子萌发速率的影响

Fig. 5 Effect of salt coupled with drought stress on seed germination rate of *S. ferganica*

迫下,去翅种子萌发率比具翅种子萌发率先达到最高点(图2,图5),且去翅种子萌发率比具翅种子高约5%(图1,图4)。

2.2.2 盐旱耦合胁迫对幼苗生长的影响 对NaCl和PEG耦合处理下费尔干猪毛菜幼苗生长的分析显示,低浓度NaCl对去翅种子幼苗的影响比具翅种子小(除100 $mmol\cdot L^{-1}$ NaCl+25 $g\cdot L^{-1}$ PEG处理)(图6);中浓度NaCl对去翅种子幼苗的影响比具翅种子大;高浓度NaCl胁迫下随PEG浓度升高,2种种子幼苗的株高和根长均受到抑制,但PEG浓度升高对根长生长没有显著影响($P>0.05$)。

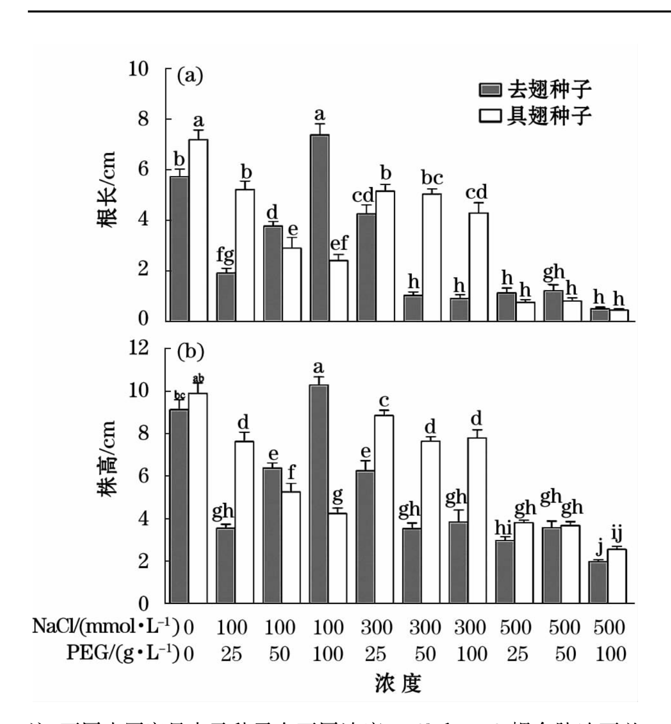
3 讨论

盐生植物种子及幼苗对盐、旱的响应直接决定其能否在盐渍环境生存[5]。盐胁迫能改变植物质膜的完整性和透性,诱发细胞中蛋白质的沉淀、抑制DNA合成等,具有渗透胁迫和离子毒害双重作用[6,15,21]。已有研究表明,等渗的PEG与NaCl对植物产生的胁迫作用有显著差异,这可能与植物的离子调节机制有关[21]。本研究通过NaCl或PEG以及二者耦合处理发现,费尔干猪毛菜种子萌发及幼苗生长均表现出较强的耐盐、耐旱能力;盐旱耦合处理下,低浓度的PEG能够显著缓解中低浓度NaCl对种子萌发和幼苗生长的胁迫效应。由此揭示了一年生盐生荒漠植物费尔干猪毛菜生活史早期对生境中盐、旱胁迫的独特适应策略。

大多数盐生植物在淡水中具有很高的萌发率,但少数物种在盐胁迫下表现出显著的促进效应[4,10]。尽管如此,高浓度的盐仍会促使荒漠植物种子进入次级休眠,从而在严酷多变生境中使种群得以保存和延续[22]。本研究中,费尔干猪毛菜与梭梭属[8]、碱蓬属(*Suaeda*)[13]及猪毛菜属(*Salsola*)其他盐生植物如*Salsola iberica*[23]、紫翅猪毛菜(*Salsola affinis*)[24]在种子萌发阶段表现的盐胁迫耐受性

chinaXiv:201909.00062v1

ChinaXiv合作期刊



注:不同小写字母表示种子在不同浓度 NaCl 和 PEG 耦合胁迫下差异显著($P<0.05$)。

图 6 NaCl 和 PEG 耦合胁迫对费尔干猪毛菜不同类型种子幼苗生长的影响

Fig. 6 Effect of salt coupled with drought stress on seedling growth of *S. ferganica*

具有类似响应,暗示盐生植物的趋同适应特征。荒漠盐生植物异子蓬(*Suaeda aralocaspica*)在 1 400 mmol·L^{-1} NaCl 处理时,仍具有一定萌发率(大于10%)[13]。但宽叶独行菜(*Lepidium latifolium*)[25]和白花丹科(Plumbaginaceae)补血草属(*Limonium*)*Limonium iconicum*、*Limonium stocksii*[26]在 300 mmol·L^{-1} NaCl 浓度下,种子萌发率几乎为零。本研究中费尔干猪毛菜在 700 mmol·L^{-1} NaCl 处理下,仍具有一定萌发率,显示其有较强的耐盐性。通常盐生植物种子可以被迫进入次级休眠耐受高盐胁迫,一旦条件改善,将很快恢复萌发或生长[22,27]。本研究显示,费尔干猪毛菜种子在高盐胁迫下,具有较强的恢复萌发能力,其总萌发率最高可达 90% 以上,剩余的 5% ~10% 为深度休眠及无活力种子[1]。

干旱是影响植物生长的重要非生物胁迫因素之一,能对种子萌发和幼苗发育造成严重危害[28]。荒漠植物为适应恶劣环境,通常进化出良好的耐旱能力,特别是在发育早期[29]。本研究中费尔干猪毛菜种子对 PEG 处理具有较好的耐受性。与碱蓬(*Suaeda glauca*)[30]、裸果木(*Gymnocarpos przewalskii*)[31]种子在 -1 MPa 渗透压的 PEG 胁迫下,与有约 10% 的萌发率相比,费尔干猪毛菜种子相同渗透压胁迫的萌发率则达到 30%。由此暗示,费尔干猪毛菜种子具有良好的耐旱性。

植物生长过程可能受到多种非生物因素的综合影响[22]。荒漠植物常常同时面对高盐、干旱、高温、强光照射等复杂环境[32],而这些因素对植物种子的萌发不一定是完全叠加的抑制效应[33]。本研究对费尔干猪毛菜在盐旱耦合处理下种子萌发实验的观察发现,盐旱耦合处理能够显著缓解主效因子(本研究为 NaCl)的胁迫效应。这种效应可能是 PEG 大分子对盐离子的吸附作用,从而缓解了中浓度盐对种子和幼苗的离子毒害作用[34]。结果暗示,费尔干猪毛菜种子对 NaCl 与 PEG 引起的渗透胁迫可能具有不同的响应对策[35]。NaCl 引起的胁迫可被 PEG 显著缓解,暗示离子浓度未对种子内生理过程产生实质性的影响;而 PEG 引起的胁迫可能降低了种子内的酶活性,从而引起相关结构的破坏或种子的休眠[36]。

幼苗是植物生长发育的关键时期,对物种的定植和繁衍具有重要意义[10]。本研究中费尔干猪毛菜幼苗的生长随 NaCl 和 PEG 浓度升高逐渐受到抑制,与种子萌发有类似趋势。在等渗透条件下,费尔干猪毛菜幼苗生长更耐受 NaCl 胁迫,暗示盐离子可能具有缓解渗透胁迫的作用[21]。沙漠植物种子通常会发育出辅助结构适应环境,种子的翼状花被具有重要生态适应作用[10]。本研究中,相同条件下费尔干猪毛菜去翅种子的萌发率高于具翅种子,显示果翅对种子萌发具有一定的阻碍作用。许多具果翅的荒漠植物种子呈现此类特征[9,24,37]。但是种子与其翅缘花被间的天然机械屏障可以帮助荒漠种子选择最佳萌发时机[4-5,10]。本研究具翅种子比去翅种子拥有更强的胁迫后恢复萌发能力,这有助于种子在萌发期适应复杂多变的荒漠环境[34-35]。

4 结 论

费尔干猪毛菜种子及幼苗表现出较强的耐受 NaCl 或 PEG 以及 NaCl 和 PEG 耦合胁迫的能力;当盐作为主效因子,一定程度的 PEG 模拟干旱胁迫能够缓解盐离子对种子萌发和幼苗生长的抑制作用;费尔干猪毛菜果翅在种子萌发过程中施加一定的负

chinaXiv:201909.00062v1

ChinaXiv合作期刊

效应，但同时也调节了种子萌发和休眠之间的平衡，使其在不利条件下补充土壤种子库。

参考文献(References)：

〔1〕 Ma Y, Zhang J, Li X, et al. Effects of environmental stress on seed germination and seedling growth of *Salsola ferganica* (Chenopodiaceae)〔J〕. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(6): 456 – 463.

〔2〕 Volis S. Seed heteromorphism in *Triticum dicoccoides*: Association between seed positions within a dispersal unit and dormancy〔J〕. Oecologia, 2016, 181(2): 401 – 412.

〔3〕 Jaganathan G K. Influence of maternal environment in developing different levels of physical dormancy and its ecological significance〔J〕. Plant Ecology, 2016, 217(1): 71 – 79.

〔4〕 Gul B, Ansari R, Flowers T J, et al. Germination strategies of halophyte seeds under salinity〔J〕. Environmental & Experimental Botany, 2013, 92(4): 4 – 18.

〔5〕 渠晓霞，黄振英. 盐生植物种子萌发对环境的适应对策〔J〕. 生态学报，2005，25(9): 2 389 – 2 398.〔Qu Xiaoxia, Huang Zhenying. The adaptive strategies of halophyte seed germination〔J〕. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(9): 2 389 – 2 398.〕

〔6〕 Li R, Shi F, Fukuda K. Interactive effects of salt and alkali stresses on seed germination, germination recovery, and seedling growth of a halophyte *Spartina alterniflora* (Poaceae)〔J〕. South African Journal of Botany, 2010, 76(2): 380 – 387.

〔7〕 Katembe W J, Ungar I A, Mitchell J P. Effect of salinity on germination and seedling growth of two *Atriplex species* (Chenopodiaceae)〔J〕. Annals of Botany, 1998, 82(2): 167 – 175.

〔8〕 Khan M A, Ungar I A. Influence of salinity and temperature on the germination of *Haloxylon recurvum* Bunge ex. Boiss〔J〕. Annals of Botany, 1996, 78(5): 547 – 551.

〔9〕 李宽亮，刘彤，李勇冠，等. 褐翅猪毛菜种子异型性及其萌发特性研究〔J〕. 石河子大学学报(自然科学版)，2012，30(3): 276 – 281.〔Li Kuanliang, Liu Tong, Li Yongguan, et al. Seed polymorphism and germination of *Salsola korshinskyi* Drob〔J〕. Journal of Shihezi University (Natural Science Edition), 2012, 30(3): 276 – 281.〕

〔10〕 Baskin J M, Lu J J, Baskin C C, et al. Diaspore dispersal ability and degree of dormancy in heteromorphic species of cold deserts of northwest China: A review〔J〕. Perspectives in Plant Ecology Evolution & Systematics, 2014, 16(2): 93 – 99.

〔11〕 Mamut J, Tan D Y, Baskin C C, et al. Role of trichomes and pericarp in the seed biology of the desert annual *Lachnoloma lehmannii* (Brassicaceae)〔J〕. Ecological Research, 2014, 29(1): 33 – 44.

〔12〕 Baskin J M, Baskin C C. A classification system for seed dormancy〔J〕. Seed Science Research, 2004, 14(1): 1 – 16.

〔13〕 何美香，杜晓峰，陈玲，等. 盐分、变温和激素处理对盐生植物异子蓬异型性种子萌发及成苗的影响〔J〕. 生态学杂志，2013，32(1): 45 – 51.〔He Meixiang, Du Xiaofeng, Chen Ling, et al. Effects of salt, alternating temperature and hormone treatments on seed germination and seedling establishment of *Suaeda aralocaspica* (Chenopodiaceae) dimorphic seeds〔J〕. Chinese Journal of Ecology, 2013, 32(1): 45 – 51.〕

〔14〕 Li J, Yin L Y, Jongsma M A, et al. Effects of light, hydropriming and abiotic stress on seed germination, and shoot and root growth of pyrethrum (*Tanacetum cinerariifolium*)〔J〕. Industrial Crops & Products, 2011, 34(3): 1 543 – 1 549.

〔15〕 Wang Y, Jiang G Q, Han Y N, et al. Effects of salt, alkali and salt-alkali mixed stresses on seed germination of the halophyte *Salsola ferganica* (Chenopodiaceae)〔J〕. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(6): 354 – 360.

〔16〕 黄俊华. 中国猪毛菜属(*Salsola* L.)植物的地理分布特点〔J〕. 干旱区地理，2005，28(3): 325 – 329.〔Huang Junhua. Geographical distribution of *Salsola* L. in China〔J〕. Arid Land Geography, 2005, 28(3): 325 – 329.〕

〔17〕 Ma Y L, Wang J, Zhang J H, et al. Seed heteromorphism and effects of light and abiotic stress on germination of a typical annual halophyte *Salsola ferganica* in cold desert〔EB/OL〕. https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2017.02257/full, 2018/2018 – 8 – 29.

〔18〕 Yao S, Lan H, Zhang F. Variation of seed heteromorphism in *Chenopodium album* and the effect of salinity stress on the descendants〔J〕. Annals of Botany, 2010, 105(6): 1 015 – 1 025.

〔19〕 Coons J M, Kuehl R O, Simons N R. Tolerance of ten lettuce cultivars to high temperature combined with NaCl during germination〔J〕. Journal of the American Society for Horticultural Science, 1990, 115(6): 1 004 – 1 007.

〔20〕 Kaufmann M R, Eckard A N. Evaluation of water stress control with polyethylene glycols by analysis of guttation〔J〕. Plant Physiology, 1971, 47(4): 453 – 456.

〔21〕 Dodd G L, Donovan L A. Water potential and ionic effects on germination and seedling growth of two cold desert shrubs〔J〕. American Journal of Botany, 1999, 86(8): 1 146 – 1 153.

〔22〕 Naylor R E L. An evaluation of various germination indices for predicting differences in seed vigour in Italian ryegrass〔J〕. Seed Science & Technology, 1981, 9: 593 – 600.

〔23〕 Khan M A, Gul B, Weber D J. Seed germination in the Great Basin halophyte *Salsola iberica*〔J〕. Revue Canadienne De Botanique, 2002, 80(6): 650 – 655.

〔24〕 Wei Y, Dong M, Huang Z, et al. Factors influencing seed germination of *Salsola affinis* (Chenopodiaceae), a dominant annual halophyte inhabiting the deserts of Xinjiang, China〔J〕. Flora, 2008, 203(2): 134 – 140.

〔25〕 Ahmed M Z, Khan M A. Tolerance and recovery responses of playa halophytes to light, salinity and temperature stresses during seed germination〔J〕. Flora, 2010, 205(11): 764 – 771.

〔26〕 Yildiz M, Cenkci S, Kargioglu M. Effects of salinity, temperature, and light on seed germination in two Turkish endemic halophytes, *Limonium iconicum* and *L. lilacinum* (Plumbaginaceae)〔J〕. Seed Science & Technology, 2008, 36(3): 646 – 656.

〔27〕 Bhaskar G, Huang B R. Mechanism of salinity tolerance in plants: Physiological, biochemical, and molecular characterization〔EB/OL〕. https://www.hindawi.com/journals/ijg/2014/701596/, 2014/2018 – 8 – 29.

〔28〕 Yao X, Chu J G. Effects of selenium on wheat seedlings under drought stress〔J〕. Biological Trace Element Research, 2009, 130(3): 283 – 290.

chinaXiv:201909.00062v1

ChinaXiv合作期刊

〔29〕 Friedman J, Stein Z, Rushkin E. Drought tolerance of germinating seeds and young seedlings of *Anastatica hierochuntica* L.〔J〕. Oecologia, 1981, 51(3):400 – 403.

〔30〕 杨景宁,王彦荣. PEG 模拟干旱胁迫对四种荒漠植物种子萌发的影响〔J〕. 草业学报, 2012, 21(6):23 – 29.〔Yang Jingning, Wang Yanrong. Effects of drought stress simulated by PEG on seed germination of four desert plant species〔J〕. Acta Prataculturae Sinica, 2012, 21(6):23 – 29.

〔31〕 魏振艳,黄海霞,欧阳尔乾,等. 水盐胁迫对裸果子种子萌发的影响〔J〕. 干旱区研究, 2018, 35(6):1 444 – 1 449.〔Wei Zhenyan, Huang Haixia, Ouyang Erqian, et al. Effects of salt and water stress on seed germination of *Gymnocarpos przewalskii*〔J〕. Arid Zone Research, 2018, 35(6):1 444 – 1 449.〕

〔32〕 Pigliucci M. Evolution of phenotypic plasticity: Where are we going now?〔J〕. Trends in Ecology & Evolution, 2005, 20(9):481 – 486.

〔33〕 Almansouri M, Kinet J M, Lutts S. Effect of salt and osmotic stresses on germination in durum wheat (*Triticum durum* Desf.)〔J〕. Plant & Soil, 2001, 231(2):243 – 254.

〔34〕 Bajji M, Kinet J M, Lutts S. Salt stress effects on roots and leaves of *Atriplex halimus* L. and their corresponding callus cultures〔J〕. Plant Science, 1998, 137(2):131 – 142.

〔35〕 Bajji M, Kinet J M, Lutts S. Osmotic and ionic effects of NaCl on germination, early seedling growth, and ion content of *Atriplex halimus* (Chenopodiaceae)〔J〕. Canadian Journal of Botany, 2002, 80(3):297 – 304.

〔36〕 Lai F M, Lecouteux C G, Mckersie B D. Germination of alfalfa (*Medicago sativa* L.) seeds and desiccated somatic embryos: I. Mobilization of storage reserves〔J〕. Journal of Plant Physiology, 1995, 145(4):507 – 513.

〔37〕 王习勇,魏岩,严成. 温周期及果翅对梭梭种子萌发行为的调控〔J〕. 干旱区研究, 2006, 23(4):558 – 561.〔Wang Xiyong, Wei Yan, Yan Cheng. Study on the effects of thermoperiods and fruiting wings on the germination of *Haloxylon ammodendron* seeds〔J〕. Arid Zone Research, 2006, 23(4):558 – 561.〕

chinaXiv:201909.00062v1

Effect of Salt Coupled with Drought Stress on Seed Germination and Seedling Growth of *Salsola ferganica*

Tayier Maimaitijiang, MA Ya-li, LAN Hai-yan

(*Xinjiang Key Laboratory of Biological Resources and Genetic Engineering, College of Life Science and Technology, Xinjiang University, Urumqi* 830046, *Xinjiang, China*)

Abstract: In this study, the effects of different stress conditions, e. g., salt (NaCl), drought (PEG 6000) or salt coupled with drought, on seed germination (SG) and seedling growth (SGr) of *Salsola ferganica* were researched. Results showed that: ① SG of *S. ferganica* could tolerate relatively high NaCl and PEG concentrations. There was no effect of low NaCl and PEG concentrations on SG; at higher concentration, however, SG was significantly decreased but its percentage still exceeded 35%, which suggested that *S. ferganica* was salt- or drought-tolerant. Under salt stress coupled with drought stress, the inhibition of seed germination was significantly relieved by increasing the PEG concentration under the low and medium concentration of NaCl. ② Under NaCl stress, the recovery rate of winged perianth (WWP) seeds was increased with increasing NaCl concentration, while that of dewing perianth (NWP) seeds was remained at low level. With increasing the PEG concentration, however, the recovery rates of both WWP and NWP seeds were significantly decreased. The recovery of germination of WWP and NWP seeds under salt coupled with drought stress was similar as that under NaCl stress. ③ The effect of NaCl or PEG treatment on the growth of the seedlings from NWP seeds of *S. ferganica* was stronger than that from WWP seeds. With increasing the NaCl or PEG concentration, the growth of plant height and root length of seedlings from WWP and NWP were inhibited. The growth of *S. ferganica* seedlings Under salt stress coupled with drought stress, the effect of low NaCl concentration on the growth of the WWP seedlings was less than that of NWP seeds (except for 100 mmol · L^{-1} NaCl + 25 g · L^{-1} PEG). The effect of NaCl concentration on the seedlings of NWP seeds was stronger than that of WWP seeds. With increasing the PEG concentration at high NaCl level, the growth of plant height and root length of seedlings from WWP and NWP were inhibited. In conclusion, *S. ferganica* was much more tolerant to salt and drought in seed germination and seedling growth. Salt stress coupled with drought stress could relieve salt ion toxicity to some extent, which has important ecological significance for *S. ferganica* to survive the early harsh environment. Moreover, the fruit wing plays an important role in puting the seed to dormancy under stress and then replenishing the soil seed bank.

Key words: *Salsola ferganica*; seed germination; osmotic stress; ion toxicity; winged perianth seed; Gurbantunggut Desert